

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Měření  $\Delta p$ -Q charakteristik armatur

Measurement of  $\Delta p$ -Q Characteristics of Valves

Student:

Adam Bořuta

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Jablonská, Ph.D.

Ostrava 2017



VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Bořuta**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Měření  $\Delta p$ -Q charakteristik armatur**  
**Measurement of  $\Delta p$ -Q Characteristics of Valves**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte teorii o měření a vyhodnocení statických charakteristik armatur.
2. Popište měřicí trať včetně použitých měřidel a vytvořte metodiku pro měření charakteristik armatur.
3. Proveďte měření na experimentální trati.
4. Vyhodnoťte naměřená data graficky a porovnejte s literaturou.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOSKIEVIČ, J. *Mechanika tekutin*. Praha: SNTL Praha, 1987. 354 s.
- [2] DRÁBKOVÁ, S. a kol. *Mechanika tekutin*: [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 257 s. [cit. 2016-10-05]. ISBN 978-80-248-1508-4. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Drabkova-Mechanikatekutin.pdf>
- [3] ČSN EN 1267 *Průmyslové armatury – Měření průtokových ztrát s použitím vody jako zkušební tekutiny*. 2012.
- [4] ČSN EN 60534-2-3 *Regulační armatury pro průmyslové procesy – Část 2-3: Průtok – Zkušební postupy*. 1999.
- [5] ROČEK, J. *Průmyslové armatury*. Praha: Informatorium, 2002. 204 s.
- [6] MIKULA, J. a kol. *Potrubí a armatury*. Praha: SNTL Praha, 1974. 585 s.
- [7] MILLER, D. S. *International Flow systems*. Bedford: BHRA, 1990. 396 s. ISBN 0-947711-77-5.
- [8] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [9] JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995. 155 s.
- [10] VINOPAL, S.; KOLÁŘ, V. *Hydraulika průmyslových armatur*. Praha: SNTL Praha, 1963. 650 s.
- [11] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. 1997.
- [12] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. 1996.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Jablonská, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřisežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5.2017

*Bouřuta*  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2017

  
.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adam Bořuta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Zahradnictví 127

790 81, Česká Ves

Česká republika

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BOŘUTA, A. *Měření  $\Delta p$ - $Q$  charakteristik armatur: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky hydraulických zařízení, 2017, 46 s. Vedoucí práce: Jablonská, J.

Bakalářská práce se zabývá metodikou měření charakteristik kulových kohoutů různých průměrů. V teoretické části se zabývá problematikou hydraulických ztrát v potrubí, měřidly tlaku a průtoku. V práci je navržena vlastní experimentální trať dle ČSN 60534-2-3 a vytvořena metodika měření. V praktické části práce je vyhodnoceno měření kulového kohoutu pro 3 různé průměry, každý kulový kohout byl proměřen pro 4 různé polohy otevření. V práci je určen průtokový součinitel a ztrátový součinitel. Pro názornost jsou naměřené a vypočtené hodnoty převedeny do grafické podoby a porovnány s literaturou.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BOŘUTA, A. *Measurement of  $\Delta p$ - $Q$  Characteristics of Valves: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2017, 46 p. Thesis head: Jablonská, J.

The bachelor thesis deals with the methodology of measuring the characteristics of ball valves of different diameters. In the theoretical part it deals with problems of hydraulic losses in pipes, pressure and flow gauges. In the thesis, the experimental hydraulic circuit according to ČSN 60534-2-3 is designed and measurement methodology is developed. In the practical part of the thesis is measured the ball valve for 3 different diameters, each ball valve is measured for 4 different positions of opening. The thesis deals with the flow coefficient and the loss coefficient. For clarity, measured and calculated values are converted into graphical form and compared to the literature.

## Obsah

Seznam použitého značení .....	9
1 Úvod.....	10
2 Hydraulické odpory.....	11
3 Metody měření veličin v hydraulice .....	14
3.1 Měření tlaku .....	14
3.2 Měření průtoku .....	16
4 Experimentální zařízení .....	18
4.1 Použité prvky .....	18
4.2 Experimentální obvod.....	19
4.3 Postup měření .....	21
5 Vyhodnocení naměřených hodnot.....	23
5.1 Varianta A-DN20 s vnitřním průměrem: 14,4mm.....	23
5.2 Varianta B-DN25 s vnitřním průměrem 18mm.....	29
5.3 Varianta C-DN32 s vnitřním průměrem 23,2mm.....	30
5.4 Srovnání plně otevřených kulových kohoutů .....	31
5.5 Porovnání s literaturou.....	33
6 Závěr .....	34



## Seznam použitého značení

Značka	Název	Jednotka
$d$	Průměr potrubí	[m]
$e_z$	Ztrátová energie	[J · kg <sup>-1</sup> ]
$g$	Gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
$h$	Výška	[m]
$h_z$	Ztrátová výška	[m]
$K_v$	Průtokový součinitel	[m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]
$p$	Tlak	[Pa]
$\Delta p_z$	Tlaková ztráta (spád)	[Pa]
$Q_m$	Hmotnostní průtok	[kg·s <sup>-1</sup> ]
$Q_v$	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
$Re$	Reynoldsovo číslo	[1]
$S$	Obsah průřezu potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$v$	Rychlost proudící tekutiny	[m·s <sup>-1</sup> ]
$Y_z$	Ztrátová energie	[J · kg <sup>-1</sup> ]
$\zeta_m$	Ztrátový součinitel	[1]
$\rho$	Hustota tekutiny	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\nu$	Kinematická viskozita kapaliny	[m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> ]

# 1 Úvod

Cílem bakalářské práce je zpracovat teorii o měření a vyhodnocení statických charakteristik kulového kohoutu, popis experimentálního obvodu a použita měřidla a vytvoření metodiky měření. Následně měření na sestaveném experimentálním obvodu, grafické vyhodnocení naměřených dat a porovnání s literaturou.

V úvodu práce je popsána teoretická část, která se zabývá problematikou proudění skutečné kapaliny a hydraulických ztrát v potrubí. Dále jsou probrány různé druhy měřidel tlaku a průtoku.

V praktické části práce jsou popsány experimentální obvody, na kterých bylo provedeno měření. Následně jsem popsal metodiku měření. Proměřeny jsou tři kulové kohouty v různých průměrech, každý kulový kohout byl proměřen pro 3 různé polohy uzavření a pro plné otevření. Vybraný plně otevřený kulový kohout byl proměřen dvakrát: pomocí U-trubic a pomocí diferenčního manometru a výsledky jsou srovnány. Pro názornost jsou naměřené a vypočtené hodnoty převedeny do grafické podoby a porovnány s literaturou.

## 2 Hydraulické odpory

Při proudění skutečné kapaliny vznikají hydraulické odpory. Tyto odpory vznikají v důsledku viskozity kapaliny. Viskozita kapaliny vyvolává síly, které působí proti pohybu kapaliny. Při proudění kapaliny dochází ke kontaktu částic kapaliny, které se o sebe třou, a vzniká odpor. Rovněž dochází ke tření mezi částicemi kapaliny a povrchem potrubí. Toto tření opět kapalinu zpomaluje a vytváří odpor. [1]

Rozlišujeme dva druhy odporů, a to třecí a místní, oba dva druhy odporů mají vliv na výpočet potrubních sítí.

a) **třecí ztráty (délkové)** vznikají při proudění kapaliny potrubím a jejím třením o stěny potrubí. Tyto ztráty jsou přímo úměrné délce potrubí, avšak nepřímo úměrné průměru potrubí. Dále při výpočtu třecích ztrát je zapotřebí uvažovat režim proudění (závislost na Reynoldsově čísle) a drsnost potrubí.

b) **místní ztráty** nejsou úměrné délce potrubí, jako tomu je u ztrát třecích. Tyto ztráty mohou vznikat vlivem změny směru proudění kapaliny nebo změnou průtočného průřezu - velikosti rychlosti nebo také změnou směru i velikosti rychlosti proudění např.:

- místní ztráty ve tvarovkách (kolena, spojky, odbočky, difuzory, T-kusy).
- místní ztráty v armaturách (ventily, kohouty, šoupátka, klapky).
- místní ztráty měřicích zařízeních (clony, vodoměry, dýzy).
- místní ztráty ostatní zařízení (filtry, ohřívače, chladiče).

### Tlakové ztráty při proudění skutečných tekutin

Každá tekutina se vykazuje nějakou mírou vnitřního tření, protože ideální tekutina neexistuje, tak proudění skutečné tekutiny provází energetické ztráty. Pro skutečnou kapalinu platí Bernoulliho rovnice[5]:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + e_z \quad 2-1$$

$\frac{p}{\rho}$	měrná tlaková energie	$[J \cdot kg^{-1}]$
------------------	-----------------------	---------------------

$\frac{v^2}{2}$	měrná pohybová energie	$[J \cdot kg^{-1}]$
-----------------	------------------------	---------------------

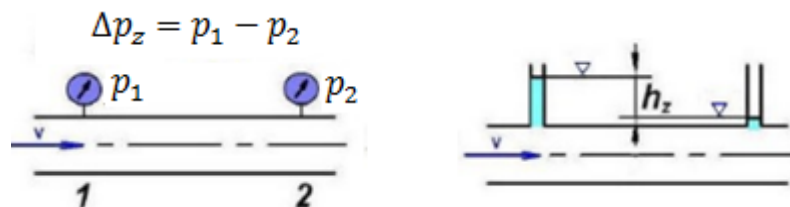
$g \cdot h$  měrná polohová energie  $[J \cdot kg^{-1}]$

$e_z$  ztrátová energie  $[J \cdot kg^{-1}]$

Hydraulické ztráty, které vznikají při odtržení proudu od stěn, se nazývají místní ztráty. Mezi stěnami, kde se nachází okrajová proudnice odtrženého proudu, vzniká vír. Dochází k odebírání energie hlavnímu proudu a tím k jejímu rozptylu. Tato energie se nazývá ztrátová měrná energie  $e_z$  nebo  $Y_z$ , vztažená na jednotku hmotnosti a je dána vztahem:

$$e_z = Y_z = \frac{\Delta p_z}{\rho} = g \cdot h_z = \zeta_M \cdot \frac{v^2}{2} \quad 2-2$$

$$\zeta_M = \frac{2 \cdot h_z \cdot g}{v^2} = \frac{2 \cdot \Delta p_z}{\rho \cdot v^2} \quad 2-3$$



obr. 2.1- Tlaková ztráta, ztrátová výška[2]

Režim proudění se určí pomocí Reynoldsova čísla. Kritická hodnota  $Re_k$  čísla pro kapaliny v kruhovém potrubí je stanovena na ***laminární***  $\leq Re_k = 2320 \leq$  ***turbulentní***.

Laminární proudění se vyskytuje u kapalin vyšší viskozity v potrubí menších průřezů. Proud tekutiny je v rovnoběžných vrstvách a rychlostní profil má tvar rotačního paraboloidu. Odpor proti pohybu tekutiny je lineárně závislý na rychlosti.

Turbulentní proudění má větší ztráty třením než u laminárního proudění, a to z důvodu větších tečných napětí. Proud tekutiny má kromě podélné rychlosti, ještě rychlost flukтуаční (turbulentní), která částice tekutiny přemísťuje po průřezu. Rychlostní profil se podobá obdélníku a odpor proti pohybu je závislý na druhé mocnině rychlost

i.

Výpočet Reynoldsova čísla:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad 2-2$$

### Určení tlakové ztráty

Místní ztráty vznikají viz kapitola 2b, vypočítají se vyjádřením z rovnice (2.2) vztahem:

$$\Delta p_z = \rho \cdot \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \quad 2-3$$

Z důvodu, charakteristiky hydraulických prvků se v literatuře častěji uvádí v závislosti na objemovém průtoku, lze tlaková ztráta určit jako:

$$\Delta p_z = \frac{\rho \cdot \zeta}{2 \cdot S^2} Q_v^2 \quad 2-6$$

Ztrátový součinitel  $\zeta$  je závislý na tvaru potrubí, rychlosti proudění, drsnosti stěn a režimu proudění. Pro větší hodnoty Re čísla ( $10^5$  a větší) je ztrátový součinitel téměř konstantní.

Pro určení objemového průtoku lze použít rovnice kontinuity:

$$Q_v = v \cdot S \quad 2-7$$

### Průtokový součinitel $K_v$

U regulačních armatur se v evropských zemích převážně používá průtokový součinitel  $K_v$ . Vyjadřuje objemový průtok vody v  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , který proteče kulovým kohoutem za referenčních podmínek:

$$K_v = \frac{1}{100} \cdot Q_v \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad 2-8$$

Rovnice (2-8) je určena z literatury [12].

kde

$Q_v$	je objemový průtok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
$\rho$	je objemová hmotnost	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
$\Delta p$	je taková ztráta armatury	$[\text{MPa}]$ ,

### 3 Metody měření veličin v hydraulice

V hydraulice mezi nejhlavnější měřené veličiny patří průtok (objemový nebo hmotnostní) a tlak nebo tlakový spád mezi dvěma průřezy potrubí.

#### 3.1 Měření tlaku

V laboratorních podmínkách i v provozech je spoustu zařízení pro měření tlaku. Měřidla tlaku můžeme rozdělit podle několika hledisek. Podle druhu měřeného tlaku můžeme provést následující dělení:

- tlakoměry absolutního tlaku
- vakuometry (měřidlo absolutního tlaku menšího než atmosférický tlak)
- barometry (měřidlo atmosférického tlaku)
- manometry (tlakoměry pro měření přetlaku, tedy relativního tlaku vzhledem ke tlaku atmosférickému)
- diferenční tlakoměry (pro měření diferenčního tlaku, rozdíl dvou současný působících tlaků).

Podle výstupního signálu můžeme měřidla rozdělit do tří kategorií a to na :

- mechanické
- hydrostatické
- elektrické

Nejčastěji měřidla tlaku dělíme podle jejich funkčního principu do následujících kategorií:

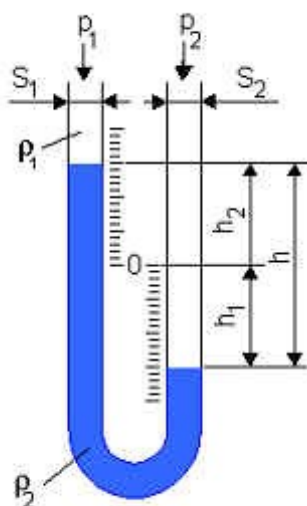
- **kapalinové tlakoměry** jsou založeny na účinku hydrostatického tlaku, měření tlaku se převádí na měření výšky (délky) sloupce kapaliny, tento údaj závisí na hustotě manometrické (měřicí) kapaliny. Jsou velmi přesné.
- **pístové tlakoměry** se silovým účinkem - měření tlaku se převádí na měření síly, jejíž účinky jsou vyvažovány např. závažím či pružinou.
- **deformační tlakoměry** - měřený tlak způsobuje pružnou deformaci tlakoměrného členu. Velikost deformace je úměrná hodnotě měřeného tlaku. Jsou to nejčastěji používané tlakoměry v průmyslu.

- **elektrické tlakoměry** - využívají principu tlakové závislosti některých elektrických veličin. Jedná se o moderní a perspektivní snímače doplněné vesměs moderními elektronickými vyhodnocovacími obvody.

### Kapalinové tlakoměry

Využití nacházejí převážně pro přesné měření malých tlaků a díky své jednoduchosti jsou nejpoužívanějšími měřicími přístroji. Příkladem je U-tlakoměr, velmi často používaný tlakoměr. Základ je tvořen skleněnou trubicí ve tvaru U a naplněnou měřicí kapalinou nejčastěji alkoholem, tetrachlorem nebo rtutí. Tlak lze určit dle vztahu

$$\Delta p_z = p_2 - p_1 = (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot h \quad 3-1$$



obr. 3.1 U-trubice

Dalšími možnými tlakoměry jsou tlakoměr nádobkový nebo mikromanometr se skloněným ramenem.

### Diferenční snímač tlaku BHV 5355

Základním prvkem snímače je tlakový senzor typu BHV 53 s kovovou měřicí membránou. Nepatrná výchylka membrány se snímá pomocí indukčnostního snímacího systému se dvěma cívkami v půlmostovém diferenciálním zapojení. Snímací systém senzoru je připojen na vstup střídavého měřicího zesilovače s nosným kmitočtem 5 kHz, z něhož je také napájen. Tlakový senzor a měřicí zesilovač tvoří jeden kompaktní celek, který obsahuje prvky pro nastavení počátku a konce měřicího rozsahu. Snímač se napájí stejnosměrným napětím 15 až 32 V a jeho výstupním signálem je stejnosměrný proud 4 až 20 mA.

### 3.2 Měření průtoku

Pro měření průtoku tekutiny se využívá mnoho principů a různých měřicích systémů.

Hlavní metody měření vychází z určování střední rychlosti proudění nebo stanovení objemu, případně hmotnosti proteklé tekutiny za určitou dobu. V závislosti na požadavcích a provozních podmínkách (tlak, teplota, hustota, el. vodivost, atd.) se volí vhodný systém měření pro daný typ měřidla. Správná funkce průtokoměrů je také úzce spjata s typem proudění tekutiny (laminární nebo turbulentní proudění).

Měřený průtok tekutiny lze vyjádřit jako objemový  $Q_v$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] nebo hmotnostní průtok  $Q_m$  [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Mezi těmito průtoky platí vztah:

$$Q_m = Q_v \cdot \rho \quad 3-2$$

Průtokoměry je možno použít jako stálou část potrubí nebo součást měřicího úseku. Pokud je daný průtokoměr stálou součástí potrubí, je vhodné použít takový průtokoměr, který má nízkou tlakovou ztrátu a tím nezvyšuje celkový odpor potrubí.

#### Indukční průtokoměr kapalin

Indukční průtokoměry splňují náročné požadavky na přesnost, spolehlivost a dlouhodobou stabilitu měření. Umožňují měření průtoku média v obou směrech. Měření průtoku média je u indukčních průtokoměrů bezkontaktní, bez mechanických pohyblivých částí a neovlivňuje nijak hydrodynamické poměry v potrubí.

#### Fyzikální princip měření:

Indukční (magnetický) průtokoměr je založen na Faradayově indukčním zákonu. Čidlo se skládá z nemagnetické a nevodivé trubky, v níž jsou kolmo na směr magnetických siločar zabudovány dvě měřicí elektrody pro snímání indukovaného napětí. Pro vytvoření střídavého magnetického pole jsou na trubce umístěny dvě cívky rovnoběžně s rovinou snímacích elektrod. Pohybem vodivé tekutiny, která tvoří vodič elektrického proudu v magnetickém poli  $B$  vzniká na měřicích elektrodách indukované napětí  $U$ , které je úměrné rychlosti proudění  $v$  a délce vodiče  $l$ .



Magnetická indukce a vzdálenost elektrod je konstantní pro danou dimenzi čidla. Objemový průtok je násobkem rychlosti proudění a průřezu trubice  $Q = v \cdot S$ .

Hlavní výhody:

- vysoká přesnost měření v širokém rozsahu měřených hodnot
- vysoká spolehlivost, minimální nároky na údržbu (bezúdržbové)
- nezpůsobují hydraulické ztráty v potrubí
- hygienicky nezávadné, možnost použití v potravinářském či chemickém průmyslu
- možnost dálkového přenosu naměřených dat


## 4 Experimentální zařízení

Měření bylo provedeno ve školní laboratoři E306 katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení. V dalších kapitolách jsou popsány sestavené experimentální obvody pro měření charakteristik kulových kohoutů různých průměrů. Charakteristiky jsem měřil pro 3 polohy uzavření a plně otevřený kulový kohout. Měření jsem provedl dle normy ČSN 60534-2-3[6].

### 4.1 Použité prvky

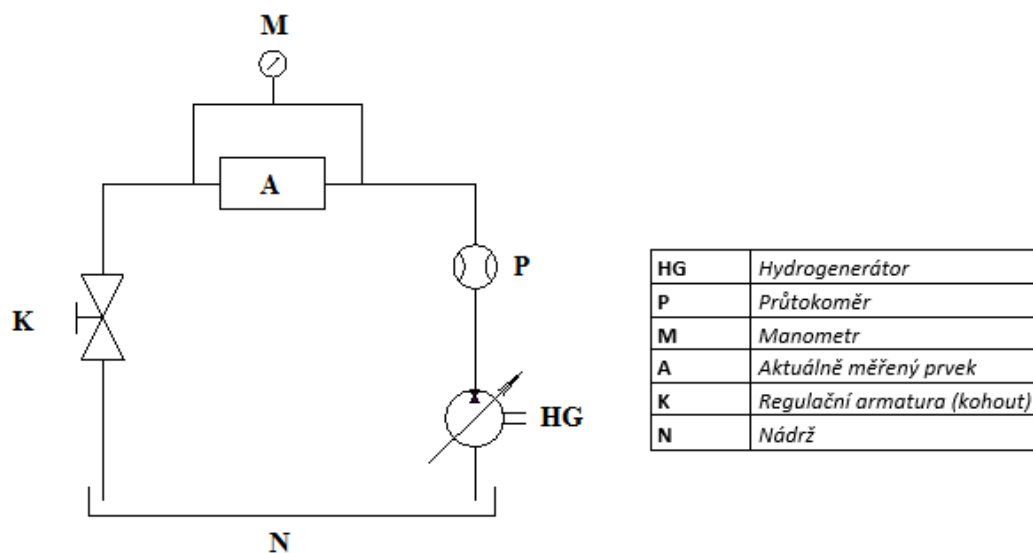
Pro měření  $\Delta p$ -Q charakteristik kulových kohoutů, budou navrženy tři různé experimentální obvody skládajících se z následujících prvků:

<b>Hydrogenerátor</b> Výrobce: WILO Typ: TOP-S30/10 Max. průtok: $10 \text{ m}^3/\text{h}$ Max. dopravní výška: 12 m Krytí: IP 44 Příkon: $P_1 = 390\text{W}; 385\text{W}; 335\text{W}$ Napájení: 230V/50Hz	
<b>Průtokoměr indukční</b> Výrobce: Elis Plzeň a.s. Typ: FLONET FN 2014 Příkon: 10 W Objemový průtok: od $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ do $30 \text{ m}^3/\text{h}$ Teplota měřené kapaliny: do $150^\circ\text{C}$	
<b>Diferenční snímač tlaku</b> Výrobce: BHV senzory s.r.o Typ: BHV 5355 Rozsah: do 200 kPa Rychlostní odezvy : 500 ms	

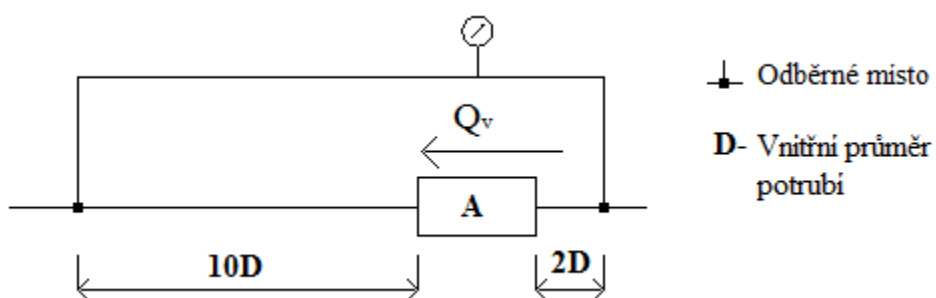
<p><b>Kulový kohout PPS</b>  Výrobce: PCV Alfa s.r.o  Kulový kohout PPS 20 PE - PE  Kulový kohout PPS 25 PE - PE  Kulový kohout PPS 32 PE – PE</p>	
<p><b>PVC trubka</b>  Výrobce: WAVIN Ekoplastik, s.r.o.  Vnější průměr 20 mm a vnitřní 14.4 mm  Vnější průměr 25 mm a vnitřní 18 mm  Vnější průměr 32 mm a vnitřní 23,2 mm</p>	
<p><b>Další prvky:</b>  Výrobce: Unidelta  Potřebné redukce  T-kusy  Kolena 90°  Provedeny ve svěrném provedení, tedy rozebíratelné a proto lze trať rozebírat a skládat jiné tratě.</p>	
<p><b>Nádrž</b>  Objem: 50 dm<sup>3</sup>  Výrobce: Valter Špalek</p>	
<p><b>U-trubice</b>  Výrobce: VŠB</p>	

## 4.2 Experimentální obvod

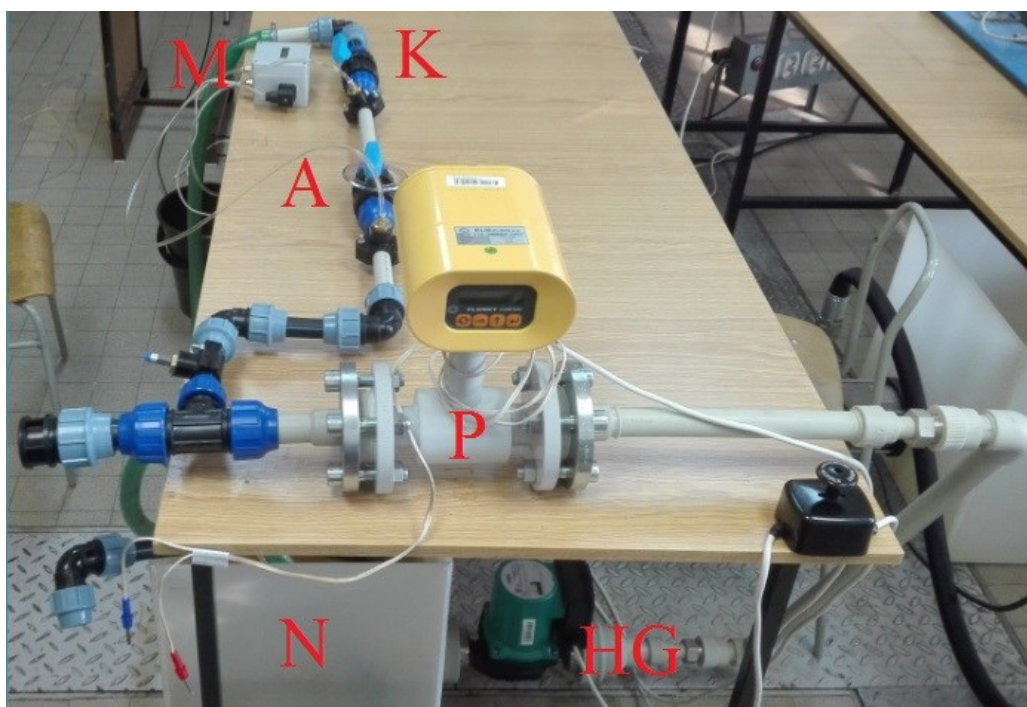
Předem jsem si nachystal PVC trubky o různých délkách a odběrnými místy. Vzdálenosti od měřené armatury nesmí být příliš blízko kvůli možnému víření a naopak příliš daleko kvůli třecím ztrátám na potrubí, proto jsem volil dvojnásobek vnitřního průměru před měřenou armaturou a desetinásobek vnitřního průměru za měřenou armaturou dle normy ČSN 60534-2-3. A poté skládal postupně tři různé experimentální obvody, abych proměřil všechny potřebné armatury o různých průměrech. Na některých tratích byli použity redukce, z důvodu změny průměry potrubí.



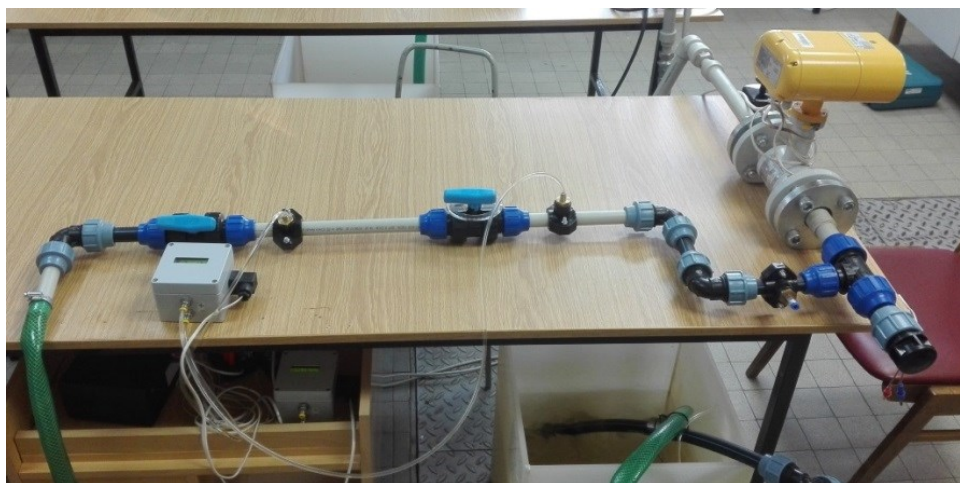
obr. 4.1 Základní schéma obvodu



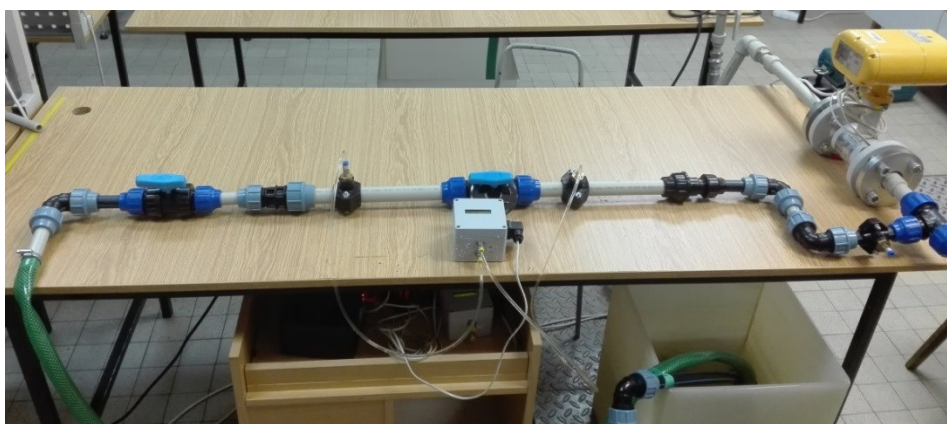
obr. 4.2 Umístění odběrné místo dle normy ČSN 60534-2-3



obr. 4.2.3 Varianta A Kulový kohout DN20



*obr. 4.4 Varianta B Kulový kohout DN25*



*obr. 4.5 Varianta C Kulový kohout DN32*

### 4.3 Postup měření

1. Příprava potřebných prvků, trubek, měřidel a armatur.
2. Složení experimentálního obvodu tratě s měřenou armaturou.
3. Zapojení vhodných měřidel tlaku a průtoku.
4. Dotažení všech použitých spojů.
5. Spuštění čerpadla a zkontrolování všech spojů a úniku kapaliny (jinak vypnout čerpadlo, vypustit kapalinu z tratě a vrátit se k bod č.4).
6. Odvzdušení celé experimentálního obvodu a zapojených měřidel (jinak by nám vzduch v potrubí ovlivňoval měřené tlaky).
7. Zkontrolování zda jsou zvoleny správné měřidla s vhodným rozsahem (pokud ne, zvolit v hodné měřidlo s dostatečným rozsahem a vrátit se k bodu č. 3)
8. Zapsat měřené parametry (průtok, diferenční tlak a nebo výšky U-trubic)

9. Snížit průtok pomocí uzavírání regulačním kohoutem.
10. Vrátit se na bod č.8 a toto opakovat 10krát až 15krát až do uzavření regulačního kohoutu.
11. Vypnout čerpadlo. Změnit nastavení měřené armatury a zapnout čerpadlo a vrátit se k bodu č.7 nebo vypustit kapalinu z tratě, vyměnit měřenou armaturu a potřebné komponenty ke kompletaci okruhu, vrátit se k bodu č.4.
12. Po změření všech nastavení a velikosti měřených armatur. Čerpadlo vypneme a vypustíme kapalinu z tratě. A uklidíme po sobě pracoviště.



## 5 Vyhodnocení naměřených hodnot

Nejprve jsem provedl porovnání měřidel tlaku U-trubici a digitálního manometru pro kulový kohout DN20, který byl plně otevřený.

Následně jsem proměřil charakteristiku pro kulové kohouty DN20, DN25 a DN32, a to v polohách plně otevřeném kohoutu a přivřený o 20°, 40° a 60°. Poté z naměřených veličin pomocí Excelu byli dopočítané ostatní veličiny a uvedeny v tabulkách. Pro lepší analýzu vypočítaných veličin byli vytvořeny grafy.

### 5.1 Varianta A-DN20 s vnitřním průměrem: 14,4mm

První měření jsem provedl pomocí U-trubic (výsledky viz příloha A - kulový kohout DN20), ale jejich omezený rozsah byl poznat hned při prvním přivření kulového kohoutu o 20° a proto jsem změnil měřidlo na diferenční manometr. Přeměřil jsem i plně otevřený kulový kohout (výsledky viz tab. 5.1) a srovnání výsledků je na obr. 5.1 a obr. 5.2.

Plně otevřený								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /hod]	$\Delta p_{p1}$ [Pa]	$Q_v^2$ [m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$v$ [m/s]	Re [ 1 ]	$\zeta_1$ [ 1 ]	Kv [m <sup>3</sup> /hod]
1	2,5	9400	$4,82 \cdot 10^{-7}$	$6,94 \cdot 10^{-4}$	4,26	61402	1,034	8,154
2	2,4	8500	$4,44 \cdot 10^{-7}$	$6,67 \cdot 10^{-4}$	4,09	58946	1,015	8,232
3	2,3	7400	$4,08 \cdot 10^{-7}$	$6,39 \cdot 10^{-4}$	3,92	56490	0,962	8,455
4	2	5600	$3,09 \cdot 10^{-7}$	$5,56 \cdot 10^{-4}$	3,41	49122	0,962	8,452
5	1,8	4600	$2,50 \cdot 10^{-7}$	$5,00 \cdot 10^{-4}$	3,07	44210	0,976	8,393
6	1,5	3200	$1,74 \cdot 10^{-7}$	$4,17 \cdot 10^{-4}$	2,56	36841	0,978	8,385
7	1	1500	$7,72 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	1,71	24561	1,031	8,165
8	0,7	800	$3,78 \cdot 10^{-8}$	$1,94 \cdot 10^{-4}$	1,19	17193	1,122	7,826
9	0,5	500	$1,93 \cdot 10^{-8}$	$1,39 \cdot 10^{-4}$	0,85	12280	1,375	7,071
10	0,3	200	$6,94 \cdot 10^{-9}$	$8,33 \cdot 10^{-5}$	0,51	7368	1,528	6,708
11	0	0	0	0	0	0	0	0

tab. 5.1 Kulový kohout DN20, plně otevřený, měřeno pomocí diferenčního manometru

### Postup vypočítaných veličin:

Rychlosti proudění je vypočítaná z rovnice kontinuity (2-7):

$$v = \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot \frac{2,5}{3600}}{\pi \cdot 0,0144^2} = 4,26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Reynoldsovo číslo je vypočteno z rovnice (2-4):

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4,26 \cdot 0,0144}{\nu} = 61\,402$$

kde  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (pro teplotu 20°C)

Tlaková ztráta při měření U-trubicemi je určena z rovnice (3-1):

$$\Delta p_z = \rho \cdot g \cdot \Delta h [\text{Pa}]$$

kde  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$\Delta h$  je rozdíl výšek U-trubic

Pro vyhodnocování měření byl použit diferenční manometr.

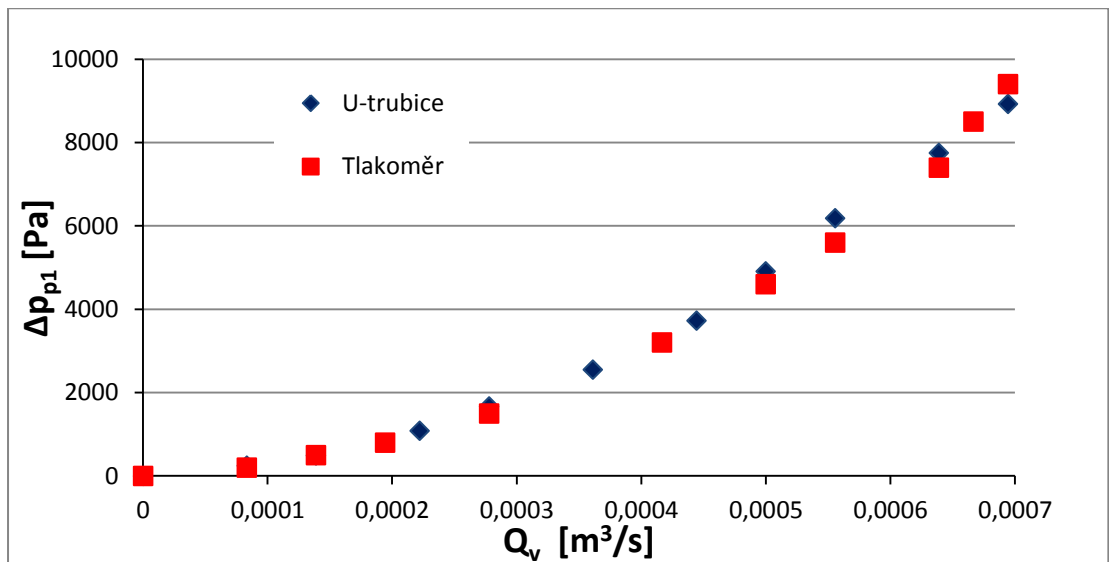
Součinitel místních ztrát je vypočítán z rovnice (2-3):

$$\zeta = \frac{2 \cdot \Delta p_{p1}}{\rho \cdot v^2} = \frac{2 \cdot 7400}{1000 \cdot 4,26^2} = 1,034$$

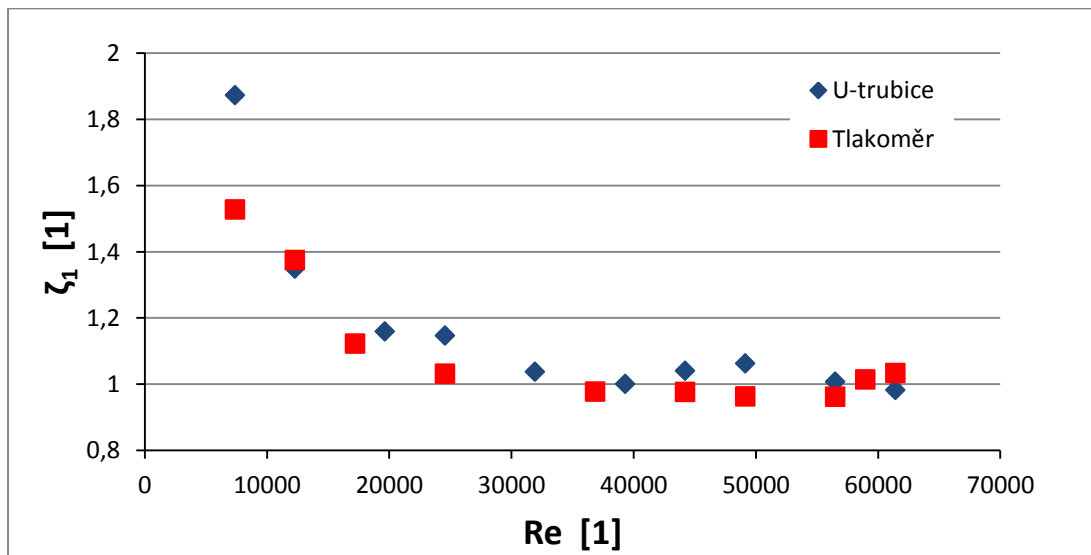
Průtokový součinitel je vypočítán z rovnice (2-8):

$$K_v = \frac{1}{100} \cdot Q_v \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_{p1}}} = \frac{1}{100} \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{1000}{0,0094}} = 8,154 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$





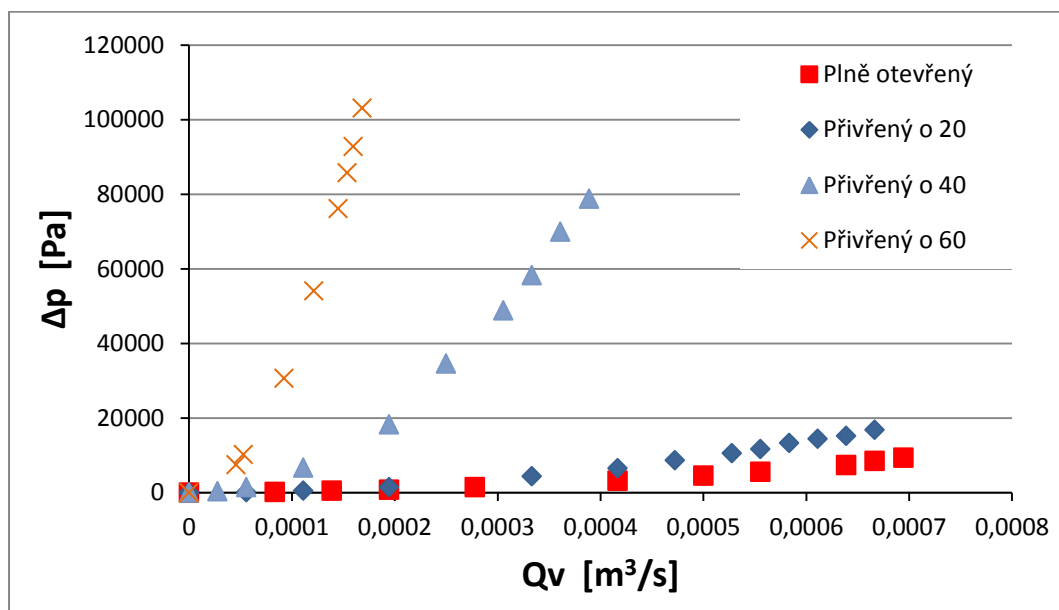
obr. 5.1 Charakteristika kulového kohoutu DN20, plně otevření



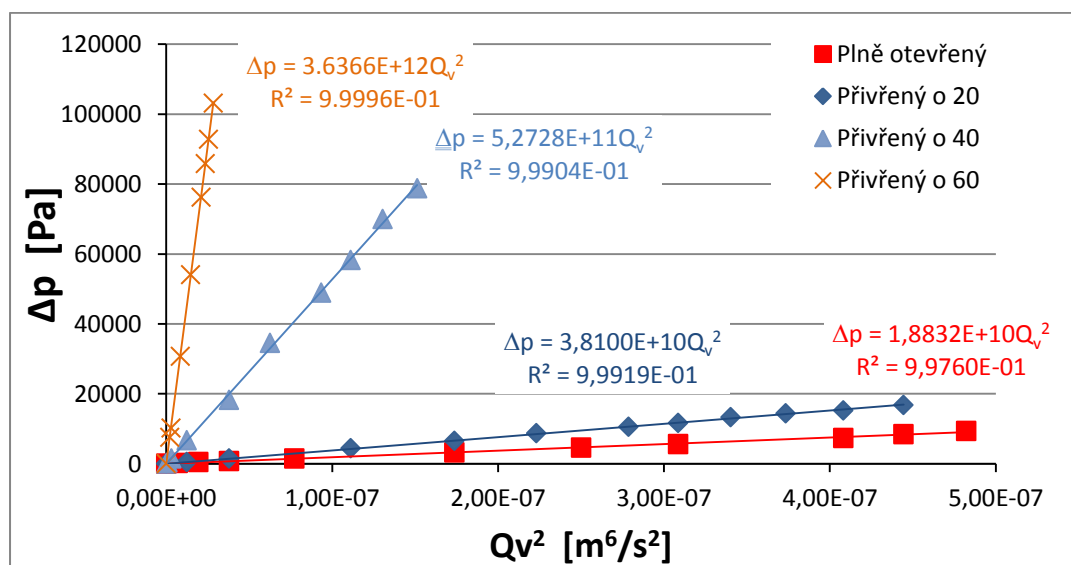
obr. 5.2 Porovnání závislosti ztrátového součinitele na Reynoldsovém čísle, kulového kohoutu DN20

Na obr. 5.1 je patrná charakteristika ventilu pro dvě varianty měření pomocí U-trubic a diferenčního manometru a z grafu je vidět, že s rostoucím objemovým průtokem je rostoucí tlaková ztráta. Na obr. 5.2 je porovnání závislosti ztrátového součinitele na Reynoldsově čísle, při nízkých hodnotách Reynoldsova čísla je hodnota ztrátového součinitele vyšší, a při vyšších hodnotách Reynoldsova čísla je hodnota ztrátového součinitele téměř konstantní a pro dané měření se pohybuje kolem 1. Rozdíly mezi hodnotami naměřenými pomocí U-trubice a hodnotami naměřenými pomocí tlakoměru jsou minimální (viz obr. 5.1, 5.2).

Další naměřené hodnoty pro ventil DN20 a jednotlivá přivření (o 20°, 40° a 60°) jsou v příloze A.



obr. 5.3 Charakteristika kulového kohoutu DN20 pro jednotlivé přivření



obr. 5.1 Závislost tlakové ztráty na druhé mocnině průtoku, proložené pomocí lineární regresní křivky k určení odporu R, kulový kohout DN20 pro jednotlivé přivření

Poloha	R	$\zeta$
Plně otevřený	$1,88 \cdot 10^{10}$	1,00
Přivřený o 20°	$3,81 \cdot 10^{10}$	2,02
Přivřený o 40°	$5,27 \cdot 10^{11}$	27,97
Přivřený o 60°	$3,64 \cdot 10^{12}$	192,91

tab. 5.1 Určení ztrátových součinitelů

Jelikož pro turbulentní proudění platí rovnice:

$$\Delta p = R \cdot Q_v^2 \quad 5-1$$

Z obr. 5.4 lze určit odpor proti pohybu  $R$  z rovnice:

$$R = \frac{\Delta p}{Q_v^2} \quad 5-2$$

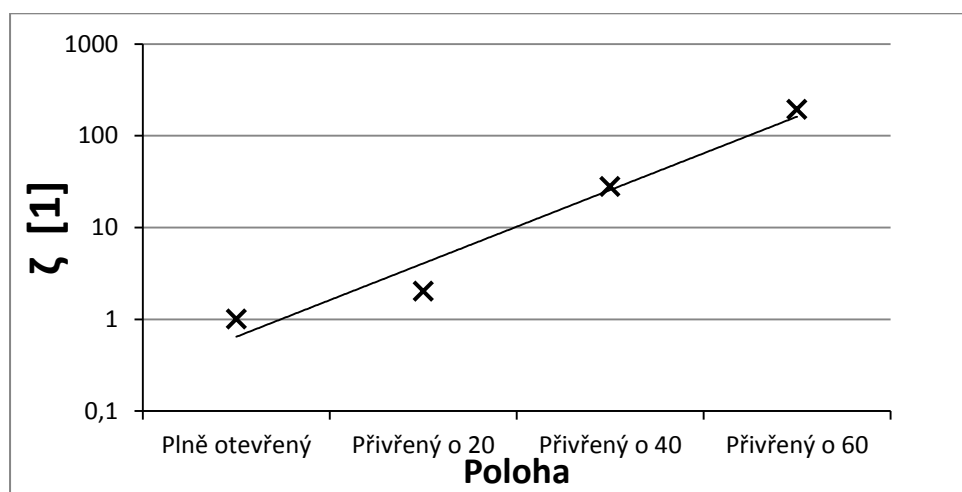
Výpočet místní ztráty je určen rovnicí (2-5). Jestliže srovnám rovnici (5-2) a rovnicí (2-6), lze určit, že odpor  $R$  je roven:

$$R = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{1}{2 \cdot S^2} \quad 5-3$$

A následně z této rovnice vyjádřit ztrátový součinitel:

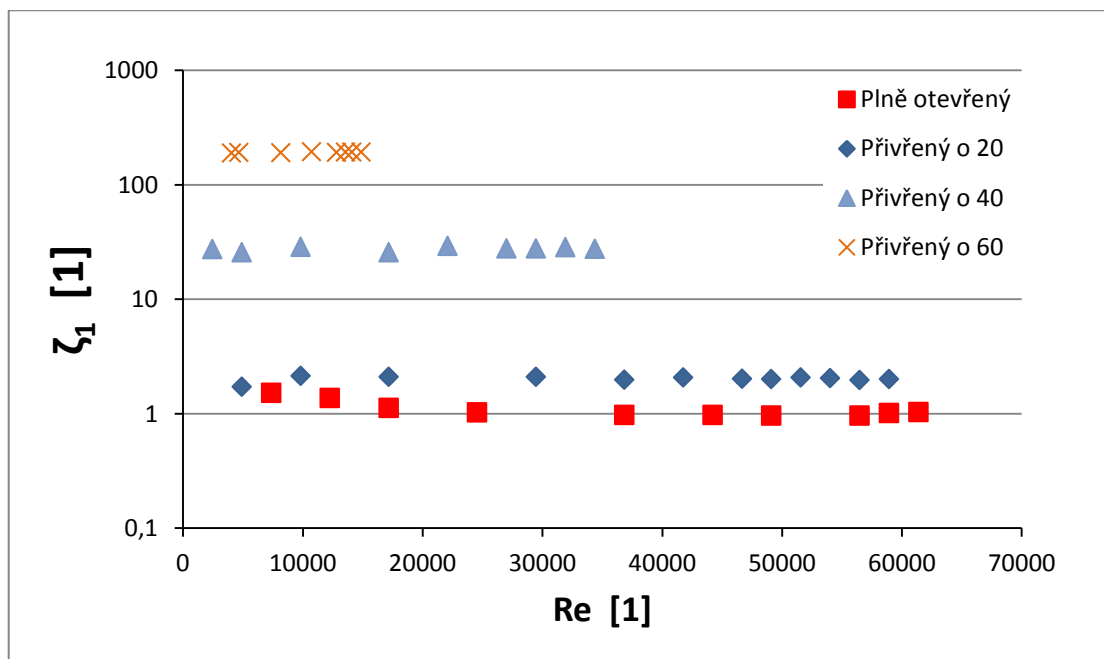
$$\zeta = \frac{R \cdot 2 \cdot S^2}{\rho} \quad 5-4$$

Ztrátové součinitele vypočítané pomocí odporu  $R$  jsou uvedeny v tab. 5.12.

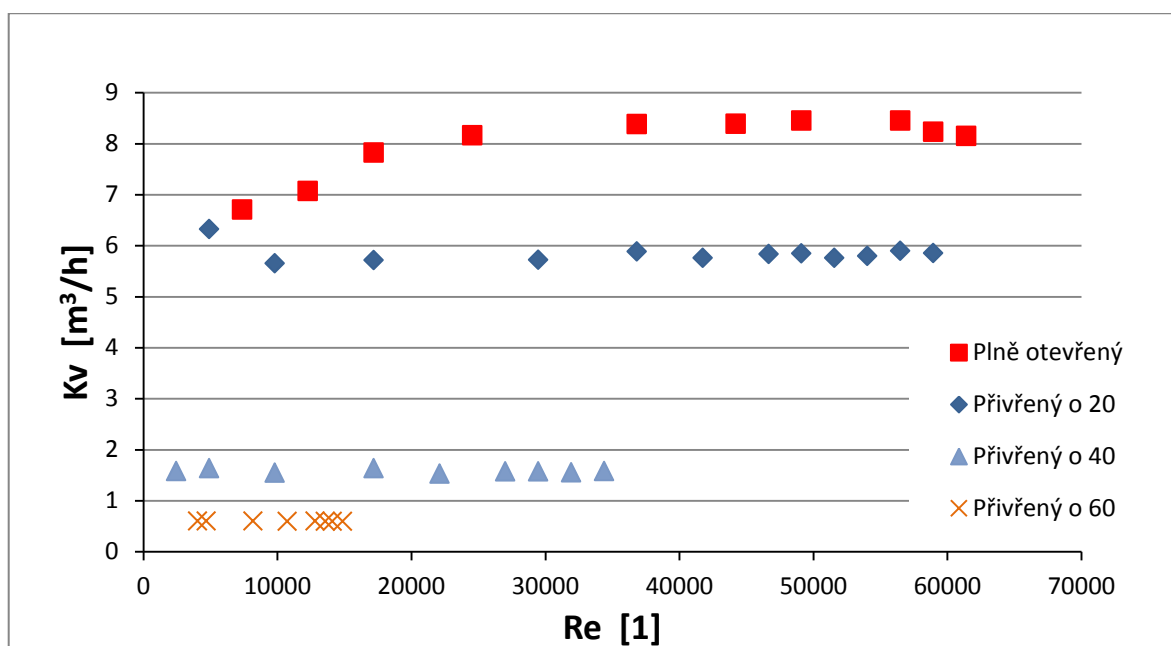


obr. 5.5 Ztrátový součinitel určený z odporu  $R$ , pro kulový kohout DN20

Z obr. 5.5 je patrné, že s přivíráním kulového kohoutu je vyšší ztrátový součinitel. Na obr. 5.6 je zobrazen ztrátový součinitel v závislosti na Reynoldsovým čísle pro čtyři měřené polohy kulového kohoutu. Hodnota ztrátového součinitele je téměř konstantní pro jednotlivé přivření. Velikost ztrátového součinitele určená z obr. 5.6 je ve shodě s hodnotami ztrátového součinitele, které jsou určeny z odporu proti pohybu viz tab. 5.2.



obr 5.6 Ztrátový součinitel v závislosti na Reynoldsovým čísle pro čtyři měřené polohy, kulového kohoutu DN 20



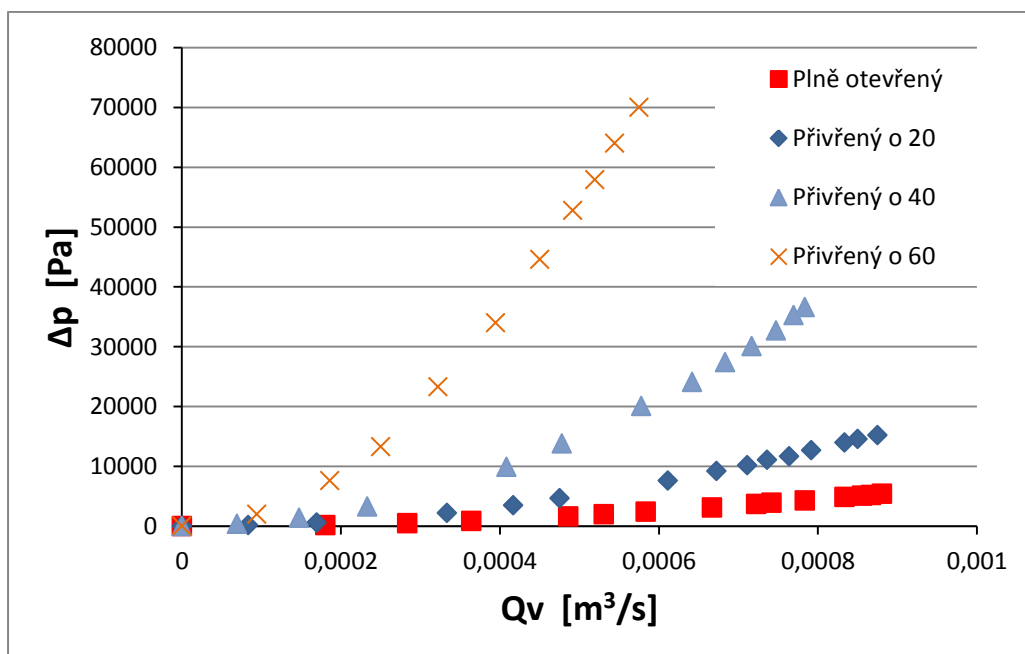
obr.5.7 Závislost průtokového součinitele na Reynoldsovým čísle pro jednotlivá přivření, kulového kohoutu DN20

Na obr. 5.7 je patrné, že plně otevřený kulový kohout má nejvyšší hodnoty průtokového součinitele a u jednotlivých přivření jeho hodnota klesá.

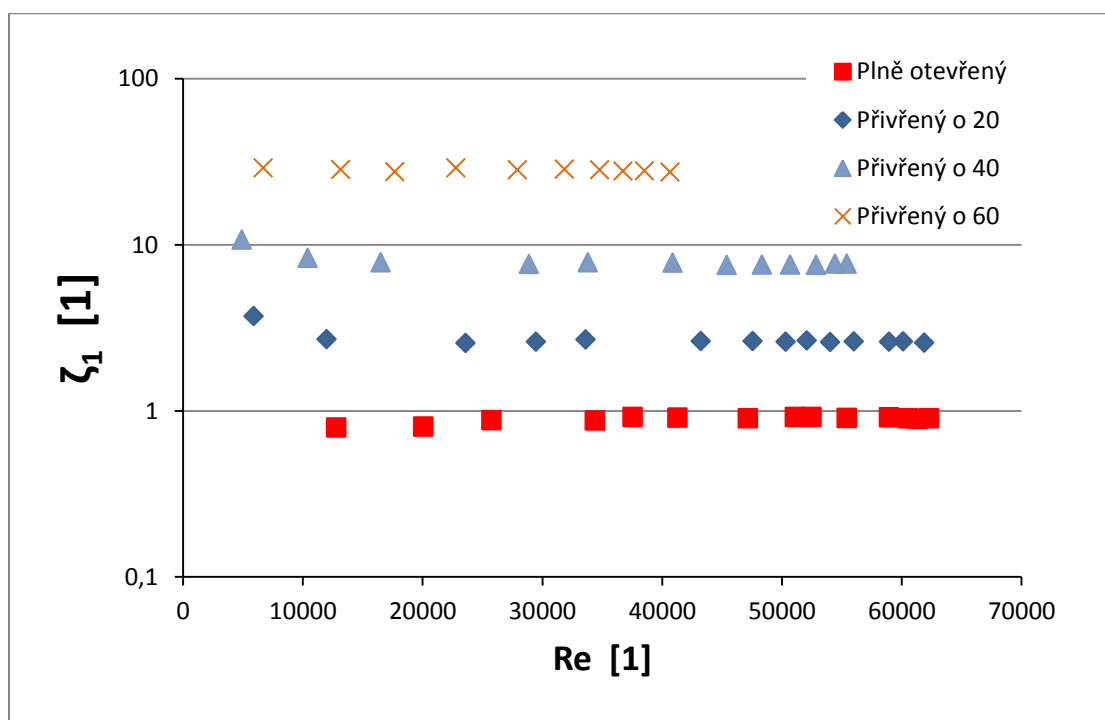
## 5.2 Varianta B-DN25 s vnitřním průměrem 18mm

V této kapitole jsou vyhodnoceny základní charakteristiky ventilu DN25 (pro plně otevření a jednotlivá uzavření). Tabulky naměřených hodnot, vypočítaných hodnot a další grafické vyhodnocení je uvedeno příloze B - kulový kohout DN25.

Z obr. 5.8 Závislost tlakové ztráty na průtoku pro jednotlivé přivření, kulového kohoutu DN25 je patrné, že plně otevřený ventil dosáhne nejvyššího objemového průtoku s nejnižšími tlakovými ztrátami, postupné přivírání snižuje objemový průtok, ale narůstá tlaková ztráta. Při posledním přivření je tlaková ztráta 70-násobně větší oproti plně otevřenému kulovému kohoutu při stejném objemovém průtoku. Z obr. 5.9 Závislost ztrátového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých přivření, kulového kohoutu DN25 je zřejmé, že ztrátový součinitel pro určitá přivření je konstantní zvyšujícím se Reynoldsovým čísle.



obr. 5.8 Závislost tlakové ztráty na průtoku pro jednotlivé přivření, kulového kohoutu DN25

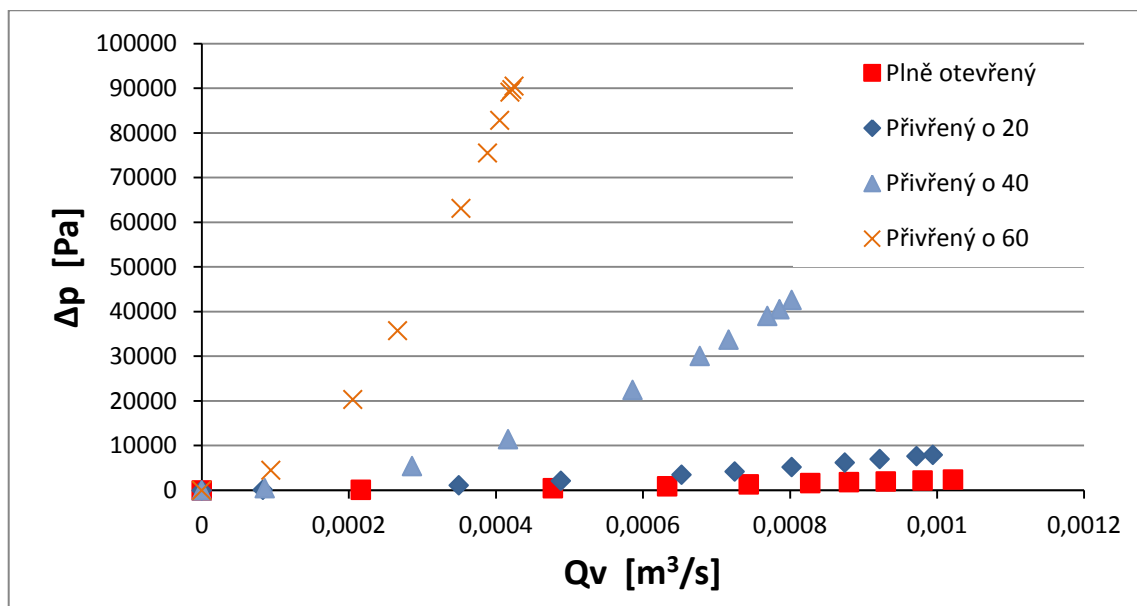


obr. 5.9 Závislost ztrátového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých přivření, kulového kohoutu DN25

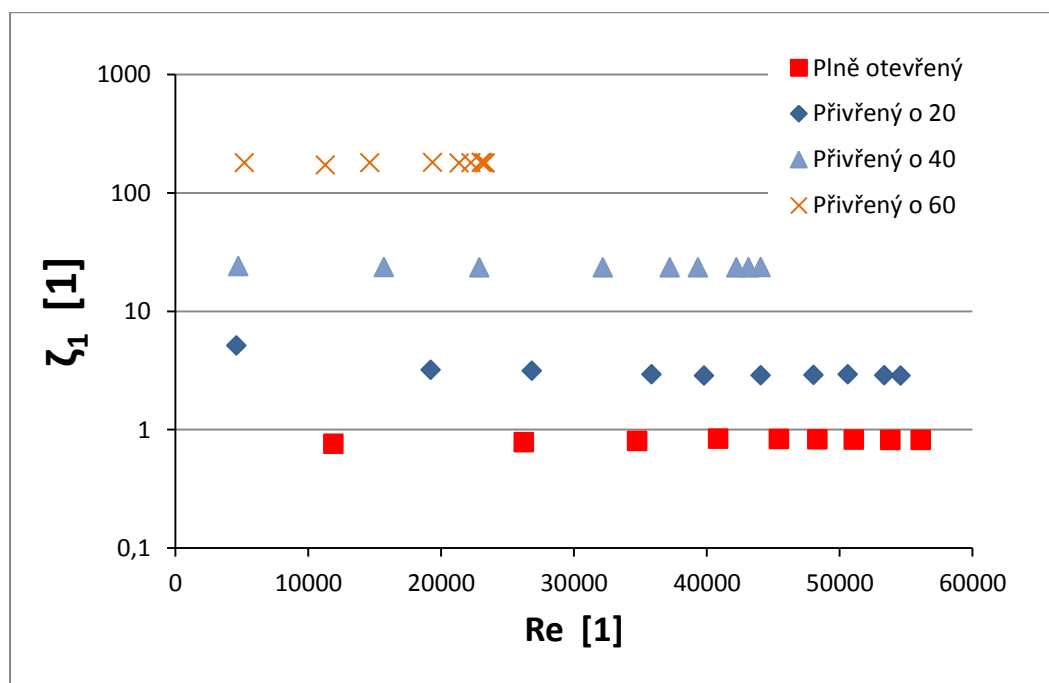
### 5.3 Varianta C-DN32 s vnitřním průměrem 23,2mm

Tabulky, všechny naměřené hodnoty, vypočítané hodnoty veličin v tabulkách a ostatní grafy viz příloha C-kulový kohout DN32.

Z obr. 5.10 Závislost tlakové ztráty na průtoku pro jednotlivé přivření, kulového kohoutu DN32 je patrné, že plně otevřený ventil dosáhne nejvyššího objemového průtoku s nejnižšími tlakovými ztrátami, postupné přivírání snižuje objemový průtok, ale narůstá tlaková ztráta. Při posledním přivření je tlaková ztráta 100-násobně větší než při plně otevřeném kulovém kohoutu při stejném objemovém průtoku. Z obr. 5.11 Závislost ztrátového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých přivření, kulového kohoutu DN32 je zřejmé, že ztrátový součinitel pro určitá přivření je konstantní se zvyšujícím Reynoldsovým čísle.



obr. 5.10 Závislost tlakové ztráty na průtoku pro jednotlivé přivření, kulového kohoutu DN32

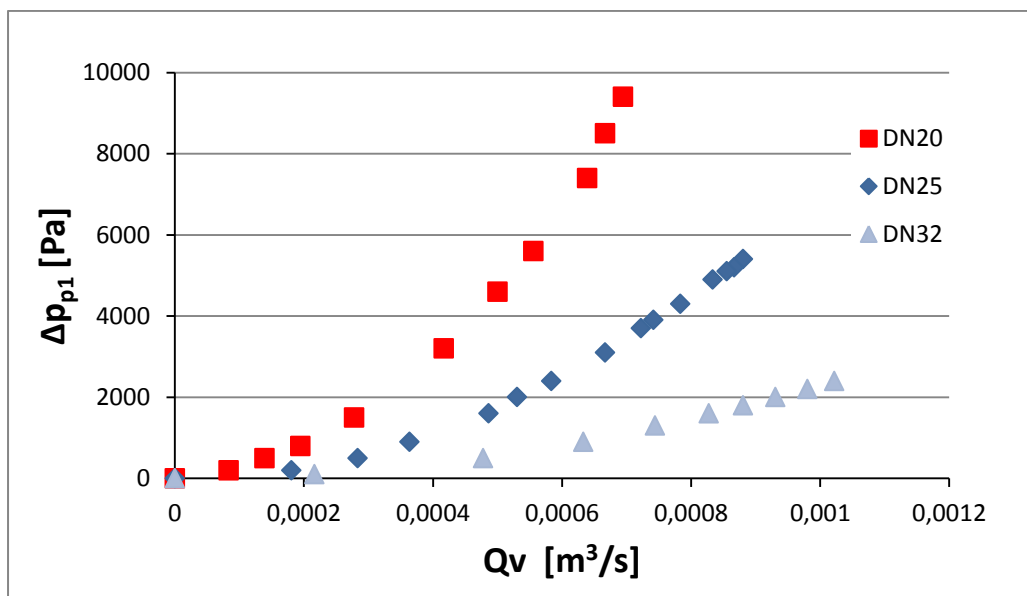


obr. 5.11 Závislost ztrátového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých přivření, kulového kohoutu DN32

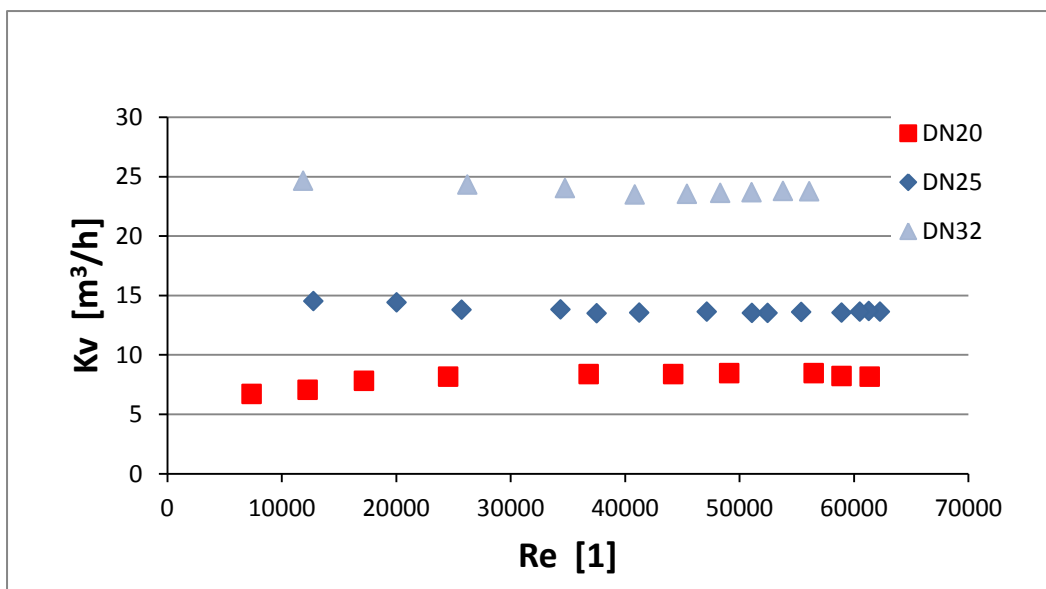
#### 5.4 Srovnání plně otevřených kulových kohoutů

Z obr. 5.12 závislost tlakové ztráty na objemovém průtoku pro jednotlivé kohouty je vidět, že nejvyšší tlakové ztráty má kulový kohout DN20. Proto bych při realizaci obvodu s kulovým kohoutem volil vyšší průměry, dá se dosáhnout vyšších průtoků s nižšíma

tlakovými ztrátami na kohoutu. A z obr. 5.13 závislost průtokového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých kohoutů je patrné, že každý kohout má svůj ustálený součinitel, který je s rostoucím Reynoldsově čísle konstantní.



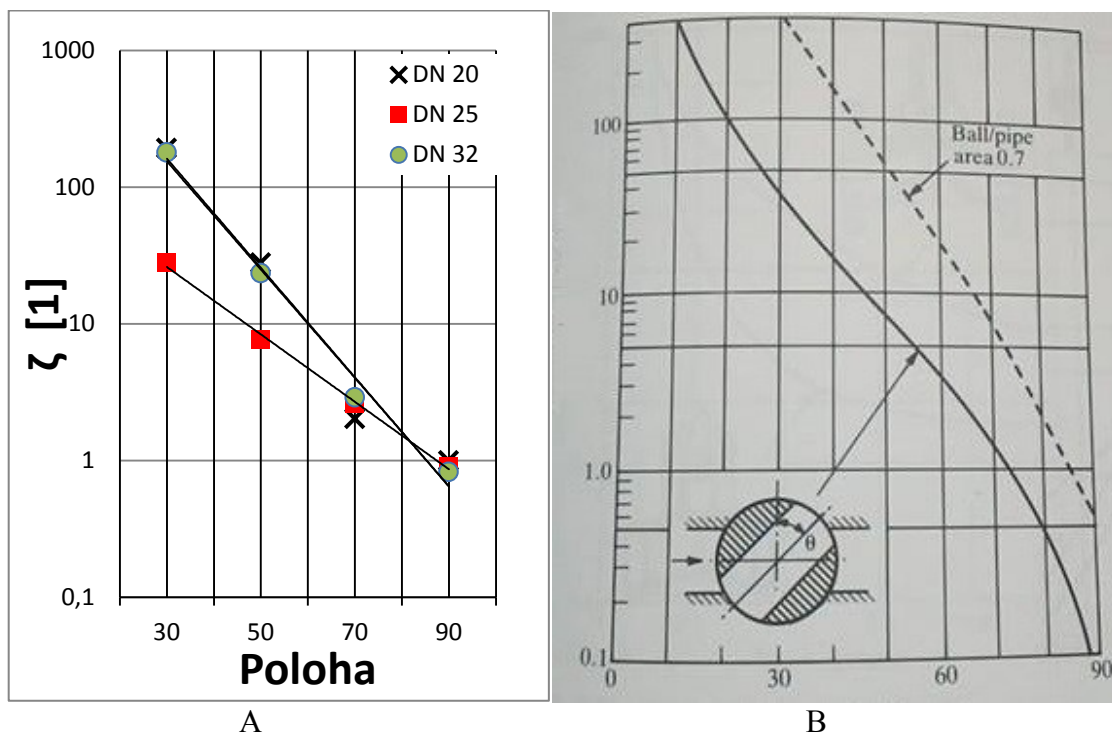
obr. 5.12 Závislost tlakové ztráty na průtoku pro jednotlivé kohouty



obr. 5.13 Závislost průtokového součinitele na Reynoldsově čísle u jednotlivých kohoutů



## 5.5 Porovnání s literaturou



obr.5.14 A Ztrátový součinitel určený z odporu  $R$ , pro všechny kulové kohouty

B Ztrátový součinitel, z literatury[6]

Při srovnání obr 5.14 A ztrátový součinitel určený z odporu  $R$ , pro všechny kulové kohouty a obr. 5.14 B ztrátový součinitel, z literatury [6] je patrné, že naměřené hodnoty pro kohouty mají podobné křivky, jak křivka z literatury. Kulové kohouty jsem měřil pouze ve čtyřech polohách, proto je křivka omezená a není tak přesná jak v literatuře.

## 6 Závěr

Zpracoval jsem teorii zabývající se problematikou proudění skutečné kapaliny, hydraulickými ztrátami v potrubí a popsal jsem různé druhy měřidel pro tlak a průtok. Následně jsem popsal experimentální obvody a definoval všechny prvky použité v obvodech a jejich základní údaje. Měření probíhalo v laboratoři katedry hydromechaniky a hydraulických zařízení. Vytvořil jsem metodiku měření, podle které jsem následně měřil. V programu MS Excel jsem vyhodnotil naměřená data a graficky zpracoval.

V praktické části byli proměřováni tři kulové kohouty ve 3 různých polohách uzavření a pro plně otevřený. Pro každý kulový kohout musel být sestaven nový obvod a bylo nutné určit vzdálenosti odběrných míst dle normy ČSN 60534-2-3.

Experimentální obvod s plně otevřeným kulovým kohoutem DN20 jsem proměřil pomocí U-trubic a diferenčního manometru. Naměřené hodnoty jsem graficky porovnal (viz obr. 5.1 ) a výsledky jsou téměř totožné. Z toho plyne, že oběma způsoby měření se dá docílit přesných výsledků. Avšak U-trubice má omezený rozsah a při prvním přivření o  $20^\circ$ , byl rozsah překročen, proto bylo nutné použít měřidlo s větším rozsahem a využil jsem diferenční manometr. Pro další měření jsem také používal diferenční manometr, práce byla jednodušší než při odečítání výšek z U-trubice následný přepočet na tlakovou ztrátu.

Z měřených dat všech kulových kohoutů a všech poloh vyplývá, že každá poloha kulového kohoutu, s rostoucím Reynoldsovým číslem, dosahuje konstantního ztrátového součinitele.

Při porovnání ztrátových součinitelů určený z odporu proti pohybu  $R$  pro všechny kulové kohouty s odbornou literaturou je zřejmé, že naměřené hodnoty pro kohouty mají podobné křivky, jak křivka v použité literatuře. Mé křivky jsou omezeny a nejsou tak přesné, protože u kulové kohoutu se špatně (nepřesně) ovládá uzavření kohoutu.

## Literatura

- [1] NOSKIEVIČ, J. Mechanika tekutin. SNTL. Praha 1987, 354 s. [cit. 2017-05-8]
- [2] JANALÍK, J., ŠTÁVA, P. Mechanika tekutin. VŠB-TU Ostrava, 123s. [cit. 2017-05-8]
- [3] KOLÁŘ, V., VINOPAL, S. Hydraulika průmyslových armatur. SNTL. Praha 1963, 650 s. [cit. 2017-05-9]
- [4] JANALÍK, J. Měření tekutinových mechanismů. Ostrava, 1995. In: [cit. 2017-04-30].
- [5] DRÁBKOVÁ, S. a kol. [i]Mechanika tekutin.[/i]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 257s. [cit. 2017-05-05]. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [6] MILLER, M., S. *Internal Flow Systems* ; BHRA UK, 396 s. [cit. 2017-05-9], ISBN 0 -947711-77-5
- [7] *Wilo: CS* [online]. Čestlice [cit. 2017-05-9]. Dostupné z : <http://www.wilo.cz//>
- [8] BOJKO Marian, Milada KOZUBKOVÁ a Jana RAUTOVÁ. 2007. Základy hydromechaniky a zásobování hasiv. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství Ostrava, 181 s. [cit. 2017-05-9] ISBN 80-86634-53-1.
- [9] Indukční průtokoměr kapalin. *ELIS PLZEŇ a. s. výrobce průtokoměrů kapalin* [online]. [cit. 2017-05-9] Dostupné z: <http://www.elis.cz/cs/produkty/indukcni-prutokomer-kapalin.html>
- [10] BHV senzory s.r.o. *DIFERENČNÍ TLAKOVÉ SNÍMAČE BHV 5355*, Kněževes u Prahy, 2010. In: [online]. [cit. 2017-05-9]. Dostupné z : [http://www.bhvsenzory.cz/data/products/file/bhv\\_5355.pdf](http://www.bhvsenzory.cz/data/products/file/bhv_5355.pdf)
- [11] ČSN EN 60534-2-3 *Regulační armatury pro průmyslové procesy – Část 2-3: Průtok – Zkušební postupy*. 1999. [cit. 2017-05-10]
- [12] *UNIDELTA* [online]. Vestone, 2016 [cit. 2017-05-9]. Dostupné z : <http://www.unidelta.com/en/index/1-0.html>
- [12] REGULAČNÍ ARMATURY [online]. LDM, spol. s.r.o. 2006 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z : [http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm\\_sbornik2006.pdf](http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf)

## ***Poděkování***

Na závěr bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Janě Jablonské, Ph.D. za užitečné rady a odborné vedení při psaní této bakalářské práce.

**Příloha A-kulový kohout DN20**

<b>Plně otevřený (U-trubice)</b>										
<b>Měření</b>	<b>Měřené veličiny</b>			<b>Počítané veličiny</b>						
	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>h1(před)</b>	<b>h2(za)</b>	<b>Qv<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>Δh</b>	<b>Δp<sub>p1</sub></b>	<b>v</b>	<b>Re</b>	<b>ζ<sub>1</sub></b>
	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[m<sup>6</sup>/s<sup>2</sup>]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[Pa]</b>	<b>[m/s]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[ 1 ]</b>
<b>1</b>	2,5	970	60	4,82E-07	6,94E-04	910	8927	4,264	61402	0,982
<b>2</b>	2,3	940	150	4,08E-07	6,39E-04	790	7750	3,923	56490	1,007
<b>3</b>	2	900	270	3,09E-07	5,56E-04	630	6180	3,411	49122	1,062
<b>4</b>	1,8	850	350	2,50E-07	5,00E-04	500	4905	3,070	44210	1,041
<b>5</b>	1,6	810	430	1,98E-07	4,44E-04	380	3728	2,729	39298	1,001
<b>6</b>	1,3	770	510	1,30E-07	3,61E-04	260	2551	2,217	31929	1,038
<b>7</b>	1	740	570	7,72E-08	2,78E-04	170	1668	1,706	24561	1,147
<b>8</b>	0,8	710	600	4,94E-08	2,22E-04	110	1079	1,364	19649	1,159
<b>9</b>	0,5	690	640	1,93E-08	1,39E-04	50	491	0,853	12280	1,349
<b>10</b>	0,3	680	655	6,94E-09	8,33E-05	25	245	0,512	7368	1,873
<b>11</b>	0	660	660	0	0	0	0	0	0	0

<b>Přivřený o 20</b>								
<b>Měření</b>	<b>Měřené veličiny</b>		<b>Počítané veličiny</b>					
	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>Δp<sub>p1</sub></b>	<b>Qv<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>v</b>	<b>Re</b>	<b>ζ<sub>1</sub></b>	<b>Kv</b>
	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>	<b>[Pa]</b>	<b>[m<sup>6</sup>/s<sup>2</sup>]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>[m/s]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>
<b>1</b>	2,4	16800	4,44E-07	6,67E-04	4,09	58946	2,005	5,855
<b>2</b>	2,3	15200	4,08E-07	6,39E-04	3,92	56490	1,975	5,899
<b>3</b>	2,2	14400	3,73E-07	6,11E-04	3,75	54034	2,045	5,798
<b>4</b>	2,1	13300	3,40E-07	5,83E-04	3,58	51578	2,073	5,758
<b>5</b>	2	11700	3,09E-07	5,56E-04	3,41	49122	2,011	5,847
<b>6</b>	1,9	10600	2,79E-07	5,28E-04	3,24	46666	2,019	5,836
<b>7</b>	1,7	8700	2,23E-07	4,72E-04	2,90	41754	2,070	5,764
<b>8</b>	1,5	6500	1,74E-07	4,17E-04	2,56	36841	1,986	5,883
<b>9</b>	1,2	4400	1,11E-07	3,33E-04	2,05	29473	2,101	5,721
<b>10</b>	0,7	1500	3,78E-08	1,94E-04	1,19	17193	2,105	5,715
<b>11</b>	0,4	500	1,23E-08	1,11E-04	0,68	9824	2,148	5,657
<b>12</b>	0,2	100	3,09E-09	5,56E-05	0,34	4912	1,719	6,325
<b>13</b>	0	0	0	0	0	0	0	0

Přivřený o 40								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /hod]	$\Delta p_{p1}$ [Pa]	$Qv^2$ [m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$v$ [m/s]	$Re$ [ 1 ]	$\zeta_1$ [ 1 ]	$Kv$ [m <sup>3</sup> /hod]
1	1,4	78800	1,51E-07	3,89E-04	2,39	34385	27,640	1,577
2	1,3	70000	1,30E-07	3,61E-04	2,22	31929	28,476	1,554
3	1,2	58300	1,11E-07	3,33E-04	2,05	29473	27,834	1,572
4	1,1	48900	9,34E-08	3,06E-04	1,88	27017	27,784	1,573
5	0,9	34600	6,25E-08	2,50E-04	1,54	22105	29,367	1,530
6	0,7	18300	3,78E-08	1,94E-04	1,19	17193	25,676	1,636
7	0,4	6700	1,23E-08	1,11E-04	0,68	9824	28,789	1,545
8	0,2	1500	3,09E-09	5,56E-05	0,34	4912	25,781	1,633
9	0,1	400	7,72E-10	2,78E-05	0,17	2456	27,499	1,581
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Přivřený o 60								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /hod]	$\Delta p_{p1}$ [Pa]	$Qv^2$ [m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$v$ [m/s]	$Re$ [ 1 ]	$\zeta_1$ [ 1 ]	$Kv$ [m <sup>3</sup> /hod]
1	0,606	103100	2,83E-08	1,68E-04	1,03	14884	193,01	0,597
2	0,575	92800	2,55E-08	1,60E-04	0,98	14123	192,96	0,597
3	0,553	85800	2,36E-08	1,54E-04	0,94	13582	192,89	0,597
4	0,522	76200	2,10E-08	1,45E-04	0,89	12821	192,26	0,598
5	0,437	54100	1,47E-08	1,21E-04	0,75	10733	194,76	0,594
6	0,333	30700	8,56E-09	9,25E-05	0,57	8179	190,33	0,601
7	0,191	10200	2,81E-09	5,31E-05	0,33	4691	192,22	0,598
8	0,165	7500	2,10E-09	4,58E-05	0,28	4053	189,39	0,602
9	0	0	0	0	0	0	0	0

**Příloha B-kulový kohout DN25**

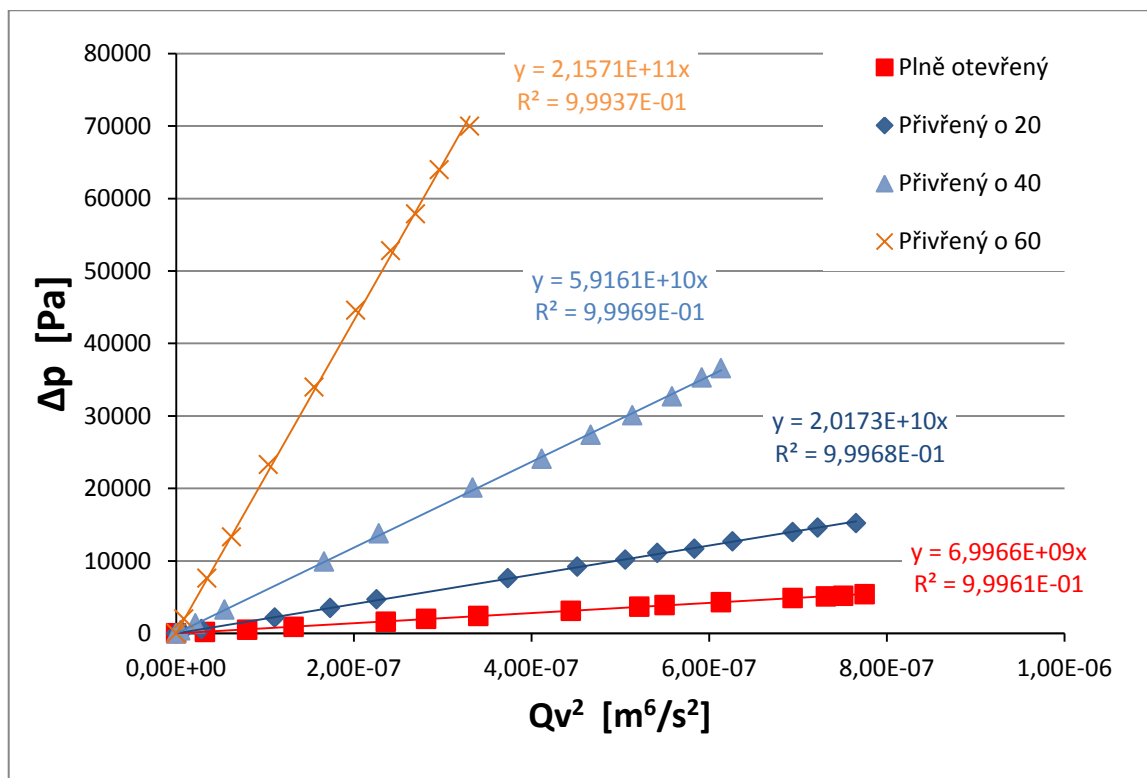
<b>Plně otevřený</b>								
<b>Měření</b>	<b>Měřené veličiny</b>		<b>Počítané veličiny</b>					
	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>Δp<sub>p1</sub></b>	<b>Qv<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>v</b>	<b>Re</b>	<b>ζ<sub>1</sub></b>	<b>Kv</b>
	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>	<b>[Pa]</b>	<b>[m<sup>6</sup>/s<sup>2</sup>]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>[m/s]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>
1	3,17	5400	7,75E-07	8,81E-04	3,46	62287	0,902	13,642
2	3,12	5200	7,51E-07	8,67E-04	3,41	61304	0,897	13,682
3	3,08	5100	7,32E-07	8,56E-04	3,36	60518	0,902	13,638
4	3	4900	6,94E-07	8,33E-04	3,27	58946	0,914	13,553
5	2,82	4300	6,14E-07	7,83E-04	3,08	55409	0,908	13,599
6	2,67	3900	5,50E-07	7,42E-04	2,91	52462	0,918	13,520
7	2,6	3700	5,22E-07	7,22E-04	2,84	51087	0,919	13,517
8	2,4	3100	4,44E-07	6,67E-04	2,62	47157	0,903	13,631
9	2,1	2400	3,40E-07	5,83E-04	2,29	41262	0,913	13,555
10	1,91	2000	2,81E-07	5,31E-04	2,08	37529	0,920	13,506
11	1,75	1600	2,36E-07	4,86E-04	1,91	34385	0,877	13,835
12	1,31	900	1,32E-07	3,64E-04	1,43	25740	0,880	13,809
13	1,02	500	8,03E-08	2,83E-04	1,11	20042	0,807	14,425
14	0,65	200	3,26E-08	1,81E-04	0,71	12772	0,795	14,534
15	0	0	0	0	0	0	0	0

<b>Přivřený o 20</b>								
<b>Měření</b>	<b>Měřené veličiny</b>		<b>Počítané veličiny</b>					
	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>Δp<sub>p1</sub></b>	<b>Qv<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>v</sub></b>	<b>v</b>	<b>Re</b>	<b>ζ<sub>1</sub></b>	<b>Kv</b>
	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>	<b>[Pa]</b>	<b>[m<sup>6</sup>/s<sup>2</sup>]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>[m/s]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[ 1 ]</b>	<b>[m<sup>3</sup>/hod]</b>
1	3,15	15200	7,66E-07	8,75E-04	3,44	61894	2,571	8,080
2	3,06	14600	7,23E-07	8,50E-04	3,34	60125	2,617	8,008
3	3	14000	6,94E-07	8,33E-04	3,27	58946	2,611	8,018
4	2,85	12700	6,27E-07	7,92E-04	3,11	55999	2,624	7,997
5	2,75	11700	5,84E-07	7,64E-04	3,00	54034	2,597	8,040
6	2,65	11100	5,42E-07	7,36E-04	2,89	52069	2,653	7,954
7	2,56	10200	5,06E-07	7,11E-04	2,79	50301	2,612	8,016
8	2,42	9200	4,52E-07	6,72E-04	2,64	47550	2,637	7,979
9	2,2	7600	3,73E-07	6,11E-04	2,40	43227	2,636	7,980
10	1,71	4700	2,26E-07	4,75E-04	1,87	33599	2,698	7,888
11	1,5	3500	1,74E-07	4,17E-04	1,64	29473	2,611	8,018
12	1,2	2200	1,11E-07	3,33E-04	1,31	23579	2,564	8,090
13	0,61	600	2,87E-08	1,69E-04	0,67	11986	2,706	7,875
14	0,3	200	6,94E-09	8,33E-05	0,33	5895	3,730	6,708
15	0	0	0	0	0	0	0	0

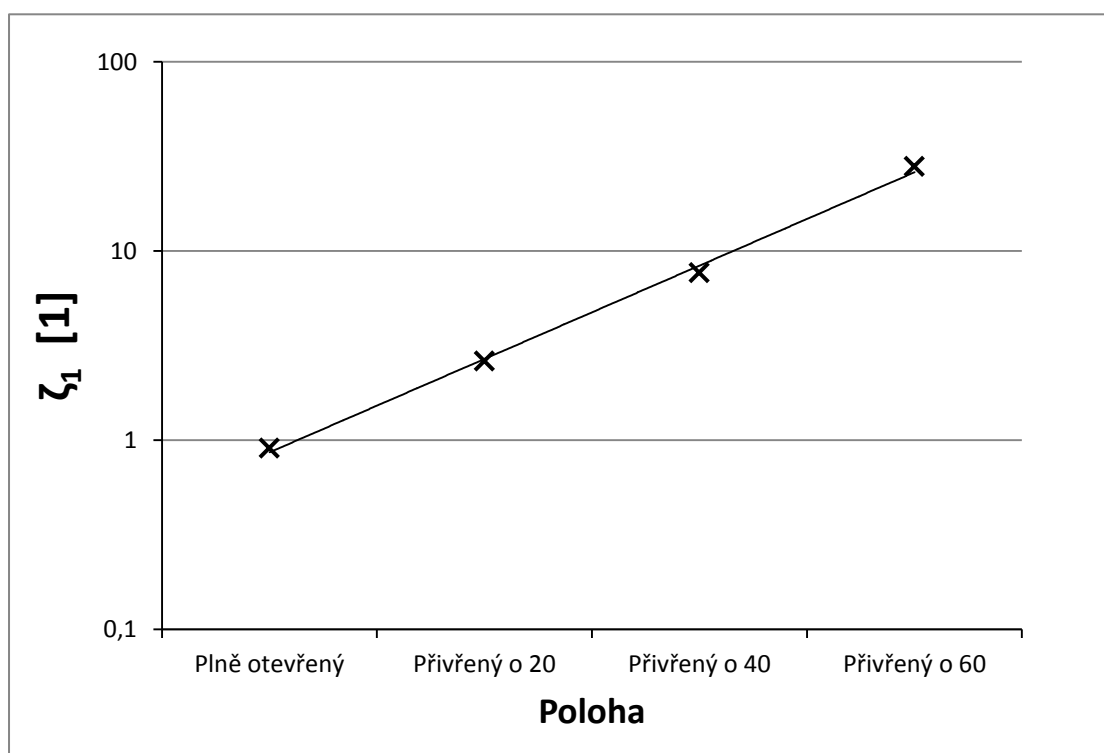
Přivřený o 40								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Qv^2$	$Q_v$	$v$	Re	$\zeta_1$	Kv
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	2,82	36600	6,14E-07	7,83E-04	3,08	55409	7,725	4,661
2	2,77	35300	5,92E-07	7,69E-04	3,02	54427	7,722	4,662
3	2,69	32700	5,58E-07	7,47E-04	2,94	52855	7,585	4,704
4	2,58	30100	5,14E-07	7,17E-04	2,82	50694	7,590	4,703
5	2,46	27400	4,67E-07	6,83E-04	2,69	48336	7,600	4,700
6	2,31	24100	4,12E-07	6,42E-04	2,52	45389	7,581	4,705
7	2,08	20100	3,34E-07	5,78E-04	2,27	40869	7,798	4,639
8	1,72	13800	2,28E-07	4,78E-04	1,88	33796	7,829	4,630
9	1,47	9900	1,67E-07	4,08E-04	1,60	28884	7,690	4,672
10	0,84	3300	5,44E-08	2,33E-04	0,92	16505	7,850	4,624
11	0,53	1400	2,17E-08	1,47E-04	0,58	10414	8,365	4,479
12	0,25	400	4,82E-09	6,94E-05	0,27	4912	10,742	3,953
13	0	0	0	0	0	0	0	0

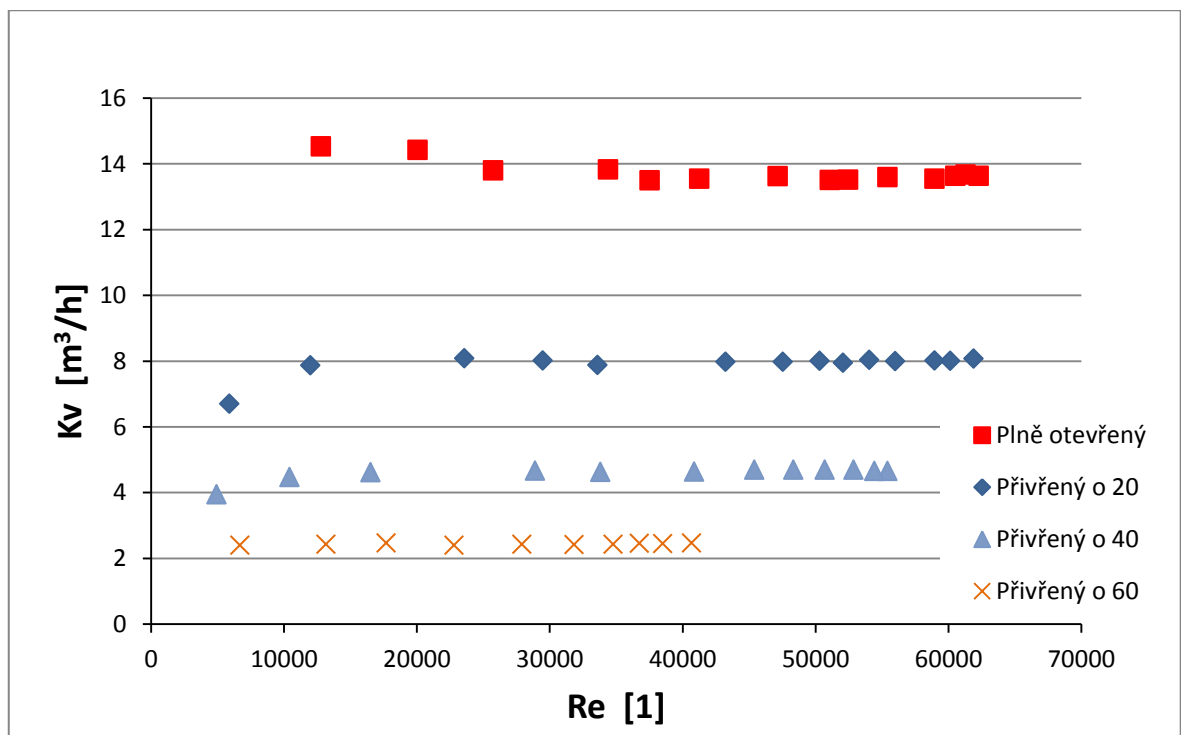
Přivřený o 60								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Qv^2$	$Q_v$	$v$	Re	$\zeta_1$	Kv
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	2,07	70000	3,31E-07	5,75E-04	2,26	40673	27,42	2,474
2	1,96	64000	2,96E-07	5,44E-04	2,14	38512	27,96	2,450
3	1,87	57900	2,70E-07	5,19E-04	2,04	36743	27,79	2,458
4	1,77	52800	2,42E-07	4,92E-04	1,93	34778	28,29	2,436
5	1,62	44600	2,03E-07	4,50E-04	1,77	31831	28,52	2,426
6	1,42	34000	1,56E-07	3,94E-04	1,55	27901	28,30	2,435
7	1,16	23300	1,04E-07	3,22E-04	1,27	22793	29,06	2,403
8	0,9	13300	6,25E-08	2,50E-04	0,98	17684	27,56	2,468
9	0,67	7600	3,46E-08	1,86E-04	0,73	13165	28,42	2,430
10	0,34	2000	8,92E-09	9,44E-05	0,37	6681	29,04	2,404
11	0	0	0	0	0	0	0	0





Poloha	R	$\zeta$
Plně otevřený	7,00E+09	0,91
Přivřený o 20°	2,02E+10	2,61
Přivřený o 40°	5,92E+10	7,66
Přivřený o 60°	2,16E+11	27,94





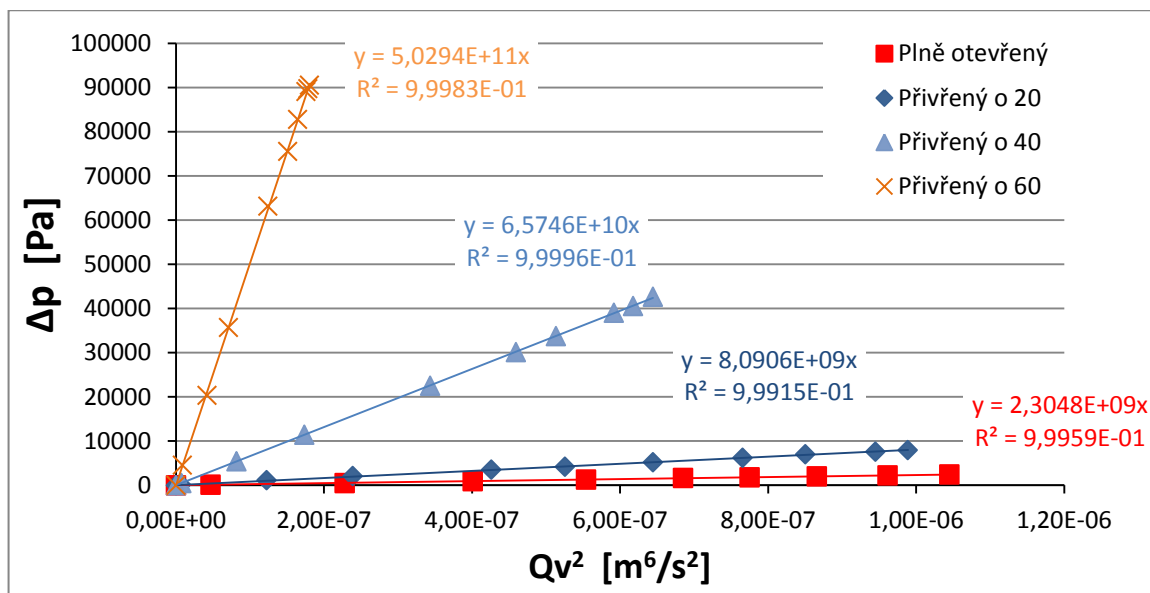
# Příloha C-kulový kohout DN32

Plně otevřený								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Q_v^2$	$Q_v$	$v$	$Re$	$\zeta_1$	$K_v$
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	3,68	2400	1,04E-06	1,02E-03	2,42	56101	0,821	23,754
2	3,53	2200	9,61E-07	9,81E-04	2,32	53814	0,818	23,799
3	3,35	2000	8,66E-07	9,31E-04	2,20	51070	0,825	23,688
4	3,17	1800	7,75E-07	8,81E-04	2,08	48326	0,830	23,628
5	2,98	1600	6,85E-07	8,28E-04	1,96	45429	0,835	23,559
6	2,68	1300	5,54E-07	7,44E-04	1,76	40856	0,838	23,505
7	2,28	900	4,01E-07	6,33E-04	1,50	34758	0,802	24,033
8	1,72	500	2,28E-07	4,78E-04	1,13	26221	0,783	24,324
9	0,78	100	4,69E-08	2,17E-04	0,51	11891	0,761	24,666
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Přivřený o 20								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Q_v^2$	$Q_v$	$v$	$Re$	$\zeta_1$	$K_v$
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	3,58	7900	9,89E-07	9,94E-04	2,35	54576	2,855	12,737
2	3,5	7600	9,45E-07	9,72E-04	2,30	53357	2,874	12,696
3	3,32	7000	8,50E-07	9,22E-04	2,18	50612	2,942	12,548
4	3,15	6200	7,66E-07	8,75E-04	2,07	48021	2,894	12,651
5	2,89	5200	6,44E-07	8,03E-04	1,90	44057	2,884	12,673
6	2,61	4200	5,26E-07	7,25E-04	1,72	39789	2,856	12,735
7	2,35	3500	4,26E-07	6,53E-04	1,54	35825	2,936	12,561
8	1,76	2100	2,39E-07	4,89E-04	1,16	26831	3,140	12,145
9	1,26	1100	1,23E-07	3,50E-04	0,83	19208	3,209	12,014
10	0,3	100	6,94E-09	8,33E-05	0,20	4573	5,147	9,487
11	0	0	0	0	0	0	0	0

Přivřený o 40								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Qv^2$	$Q_v$	$v$	$Re$	$\zeta_1$	$K_v$
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	2,89	42600	6,44E-07	8,03E-04	1,90	44057	23,625	4,428
2	2,83	40500	6,18E-07	7,86E-04	1,86	43143	23,423	4,447
3	2,77	39000	5,92E-07	7,69E-04	1,82	42228	23,544	4,436
4	2,58	33700	5,14E-07	7,17E-04	1,70	39331	23,451	4,444
5	2,44	30100	4,59E-07	6,78E-04	1,60	37197	23,418	4,447
6	2,11	22500	3,44E-07	5,86E-04	1,39	32166	23,409	4,448
7	1,5	11400	1,74E-07	4,17E-04	0,99	22867	23,469	4,443
8	1,03	5400	8,19E-08	2,86E-04	0,68	15702	23,577	4,432
9	0,31	500	7,42E-09	8,61E-05	0,20	4726	24,100	4,384
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Přivřený o 60								
Měření	Měřené veličiny		Počítané veličiny					
	$Q_v$	$\Delta p_{p1}$	$Qv^2$	$Q_v$	$v$	$Re$	$\zeta_1$	$K_v$
	[m <sup>3</sup> /hod]	[Pa]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[ 1 ]	[ 1 ]	[m <sup>3</sup> /hod]
1	1,53	90500	1,81E-07	4,25E-04	1,01	23324	179,07	1,608
2	1,52	89700	1,78E-07	4,22E-04	1,00	23172	179,83	1,605
3	1,51	89100	1,76E-07	4,19E-04	0,99	23020	181,00	1,600
4	1,46	82800	1,64E-07	4,06E-04	0,96	22257	179,92	1,604
5	1,4	75500	1,51E-07	3,89E-04	0,92	21343	178,43	1,611
6	1,27	63100	1,24E-07	3,53E-04	0,83	19361	181,21	1,599
7	0,96	35700	7,11E-08	2,67E-04	0,63	14635	179,43	1,607
8	0,74	20300	4,23E-08	2,06E-04	0,49	11281	171,71	1,642
9	0,34	4500	8,92E-09	9,44E-05	0,22	5183	180,31	1,603
10	0	0	0	0	0	0	0	0



Poloha	R	$\zeta$
Plně otevřený	2,30E+09	0,82
Přivřený o 20°	8,09E+09	2,89
Přivřený o 40°	6,57E+10	23,50
Přivřený o 60°	5,03E+11	179,75

